

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 25320121151706

UDC_____

廈門大學

硕 士 学 位 论 文

帶伸臂加强层及其阻尼体系的

超高层建筑风振控制研究

The Research on Wind-induced Vibration Control of High-rise Building

Assembled Strengthened Story and Damped Outrigger System

卢 山 郎

指导教师姓名: 张 建 霖 教授

张 建 国 副教授

专 业 名 称 : 结 构 工 程

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩时间: 2015 年 5 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月

摘 要

随着建筑高度的逐渐增高,风荷载对超高层建筑的影响作用日益突出。为增强结构的抗侧移性能,学者们相继提出了伸臂加强层体系和伸臂加强层阻尼体系的概念。目前主要有 2 类伸臂加强层阻尼体系:周云提出的耗能减振层体系和 Smith 提出的竖向粘滞阻尼器体系。关于这 2 类阻尼体系的地震控制作用研究已较为深入,并均有成功应用于工程的实例。然而,在风振控制领域,国内外学者对伸臂加强层阻尼体系的相关研究却屈指可数。

本文在其他学者的研究基础之上,针对 Smith 伸臂加强层阻尼体系存在的不足,提出改进型加强层竖向粘滞阻尼器体系;利用 ETABS 有限元软件和风洞试验数据,基于空间有限元模型,分别进行伸臂加强层及其阻尼体系的三维风振控制研究,并对改进型加强层竖向粘滞阻尼器体系进行优化设计。主要包括以下内容:

1、利用 ETABS 有限元分析软件,建立一个 69 层,304.2 米高的框架-核心筒结构模型。在该模型基础上,通过加设伸臂构件、环带构件以及伸臂加强层阻尼体系,分别形成相应的伸臂加强层模型和伸臂加强层阻尼体系模型。

2、研究伸臂加强层体系的风振响应。计算表明:设置加强层体系能在一定程度上降低结构的侧向位移,但对降低加速度的作用效果有限;同时还会造成结构刚度突变,在加强层附近几层形成薄弱层。

3、研究伸臂加强层阻尼体系的风振控制作用。计算表明:水平形粘滞阻尼器体系和改进型竖向粘滞阻尼器体系均是优秀的结构风振被动控制体系,均能有效降低水平风荷载作用下的结构动力响应;二者在具体性能上各具优势。

4、对改进型加强层竖向粘滞阻尼器体系进行优化设计。计算表明:对于该阻尼体系,阻尼指数的减小、阻尼系数的增大并不能使结构的风振控制效果达到最佳;该阻尼体系设置于结构的下部楼层能更好的发挥风振控制作用;采用元素交换法可快速完成该阻尼体系最佳配置的优化设计。

关 键 词: 加强层阻尼体系; 三维风振控制; 阻尼器优化

ABSTRACT

The effect of wind load on high-rise building has become increasingly prominent, because of the higher height of buildings. In order to strengthen the lateral performance of structures, strengthened story and damped outrigger system have been put forward. There are mainly two kinds of damped outrigger systems: energy dissipation system put forward by Zhou Yun and vertical viscous fluid damper system put forward by Smith. There has been an in-depth research of seismic vibration control and successfully used to construction projects on these two damped outrigger systems. However, the research of wind-induced vibration control of damped outrigger system is very few.

Based on the research of other scholars, this paper put forward an improved vertical viscous fluid damper system against the deficiencies of vertical viscous damper system proposed by Smith. The main content of this paper is a research of three-dimensional wind-induced vibration control of strengthened story and damped outrigger system, which is based on spatial finite element models by ETABS and wind tunnel test data. At the end of this thesis, an optimization design is made to optimize the improved vertical viscous damper system. The main work of this thesis is presented as below:

1. Firstly, modeling a 69-storey (304.2 meters high) frame-core tube by ETABS. With this model, respectively assemble outriggers members, belt members and damped outrigger members to get the corresponding models of strengthened story and damped outrigger system.

2. Make a research on three-dimensional wind-induced vibration response of strengthened story. The computation consequence shows that assembling strengthened story can make a certain extent contribution to strengthen the lateral performance of structures, but it has little effect on lower the acceleration of each story. Meanwhile, assembling strengthened story would cause stiffness mutation and weak story nearby

strengthened story.

3. Make a research on three-dimensional wind-induced vibration control of damped outrigger system. The computation consequence shows that the horizontal viscous fluid damper system and the improved vertical viscous fluid damper system both perform well in wind-induced vibration control. Each of them has its own advantages on specific performance.

4. Make an optimization design to optimize parameters of the improved vertical viscous damper system. The computation consequence shows that the wind-induced vibration control effect can't reach optimal performance as the damping exponent decrease or the damping coefficient increase. Assembling this improved vertical viscous damper system on the lower floors can reach better performance than other location. Using the element exchange method can quickly complete the optimization design.

Key Words: Damped Outrigger System; Three-Dimensional Wind-Induced Vibration Control; Damper Optimization

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 超高层建筑的发展	1
1.1.2 风荷载对结构的影响	2
1.2 结构风振控制概述	2
1.2.1 结构振动控制概念	2
1.2.2 高层建筑风振被动控制的发展应用	4
1.3 伸臂加强层阻尼体系概述	5
1.3.1 加强层的作用及存在的问题	6
1.3.2 伸臂加强层阻尼体系的提出及研究现状	8
1.4 本论文的主要研究内容	13
1.4.1 现有研究存在的问题	13
1.4.2 本论文的主要研究内容及创新点	14
1.4.3 本论文的写作顺序	15
第二章 风荷载基本理论及结构抗风要求	16
2.1 风荷载基本概念	16
2.1.1 风荷载概述	16
2.1.2 平均风与脉动风	16
2.2 风荷载对结构的作用	16
2.3 风荷载的基本特性	17
2.3.1 风速与风压的关系	17
2.3.2 高层建筑风荷载的研究方法	18
2.4 结构抗风设计要求	19
第三章 结构风振控制分析相关理论与方法	22
3.1 风振控制结构分析模型	22

3.1.1	结构分析模型.....	22
3.1.2	有限元分析软件 ETABS	22
3.1.3	阻尼器模拟单元.....	23
3.2	基于能量平衡原理的风振控制分析	24
3.3	快速非线性分析 FNA 方法	26
3.3.1	基本平衡方程.....	26
3.3.2	非线性模态方程的形成.....	27
3.3.3	非线性模态方程的求解.....	28
3.4	基于元素交换法的阻尼器最佳化配置	31
3.4.1	阻尼器最佳化配置概述.....	31
3.4.2	目标函数为各楼层最大层间位移之平方和的元素交换法.....	32
第四章	带加强层体系的结构风振响应分析.....	34
4.1	建筑模型及风荷载	34
4.1.1	建筑结构信息.....	34
4.1.2	三维风荷载.....	38
4.2	结构风荷载分析模型	44
4.2.1	结构风荷载分析模型的建立.....	44
4.2.2	风向角的选定.....	46
4.3	建立带加强层体系的结构模型	49
4.4	带加强层体系的结构风振响应分析	51
4.4.1	耗能性能——风振时程能量对比.....	51
4.4.2	舒适性能——加速度及速度对比.....	53
4.4.3	抗侧移性能——位移及层间位移角对比.....	54
4.4.4	抗扭转性能——扭转角对比.....	57
4.4.5	框架柱性能——轴力及剪力对比.....	57
4.4.6	抗倾覆性能——基底弯矩对比.....	59
4.5	本章小结	61
第五章	带伸臂加强层阻尼体系的结构风振控制分析.....	64
5.1	粘滞阻尼器 (VFD)	64

5.2 伸臂加强层阻尼体系的分类与改进	66
5.2.1 周云提出的伸臂加强层阻尼体系	66
5.2.2 本文采用的周云式伸臂加强层阻尼体系	66
5.2.3 Smith 提出的伸臂加强层阻尼体系	67
5.2.4 本文提出的改进型 Smith 伸臂加强层阻尼体系	68
5.3 建立带伸臂加强层阻尼体系的结构模型	68
5.4 带伸臂加强层阻尼体系的结构风振控制分析	70
5.4.1 耗能性能——风振时程能量对比	71
5.4.2 舒适性能——加速度及速度对比	73
5.4.3 抗侧移性能——位移及层间位移角对比	75
5.4.4 抗扭转性能——扭转角对比	76
5.4.5 框架柱性能——轴力及剪力对比	77
5.4.6 抗倾覆性能——基底弯矩对比	79
5.5 本章小结	80
第六章 改进型加强层竖向粘滞阻尼器体系的优化设计	83
6.1 优化设计方法概述	83
6.2 阻尼指数优化	83
6.2.1 阻尼指数优化概述	83
6.2.2 阻尼指数优化结果	84
6.3 阻尼系数优化	91
6.3.1 阻尼系数优化概述	91
6.3.2 阻尼系数优化结果	91
6.4 阻尼体系位置优化	94
6.4.1 阻尼体系位置优化概述	94
6.4.2 阻尼体系位置优化结果	95
6.5 阻尼体系配置优化	98
6.5.1 阻尼体系配置优化概述	98
6.5.2 阻尼体系配置优化过程	99
6.5.3 阻尼体系配置优化结果	100
6.6 本章小结	104

第七章 论文总结与展望	106
7.1 论文总结	106
7.2 展望	108
参考文献.....	110
致 谢.....	115
攻读硕士学位期间发表论文目录.....	117

CONTENTS

Chapter 1 Preface	1
1.1 Research background	1
1.1.1 Development of high-rise buildings	1
1.1.2 Influence of wind load on structures	2
1.2 Summary of wind-induced vibration control	2
1.2.1 Concept of vibration control	2
1.2.2 Development and application of wind-induced vibration passive control	4
1.3 Summary of damped outrigger system	5
1.3.1 Effect and deficiency of strengthened story	6
1.3.2 Concept and research status of damped outrigger system	8
1.4 Main work of this paper	13
1.4.1 Deficiency of existing research	13
1.4.2 Main work and innovation of this paper	14
1.4.3 Sequence of chapters	15
Chapter 2 Basic theory of wind load and structure wind resistant requirement	16
2.1 Basic concept of wind load	16
2.1.1 Summary of wind load	16
2.1.2 Static wind load and fluctuating wind load	16
2.2 Effect of wind load on structures	16
2.3 Basic characteristics of wind load	17
2.3.1 Relationship between wind speed and wind pressure	17
2.3.2 Characteristic value of wind load	18
2.4 Structure wind resistant requirement	19

Chapter 3 Theory and method of wind-induced vibration control

analysis.....22

3.1 Analysis model of wind-induced vibration controlled structure22

3.1.1 Analysis model of structure22

3.1.2 Finite element analysis software ETABS.....22

3.1.3 Simulation unit of damper23

3.2 Analysis of wind-induced vibration control based on energy balance theory24

3.3 Fast Nonlinear Analysis method26

3.3.1 Basic balance equations26

3.3.2 Formation of nonlinear modal equations27

3.3.3 Solution of nonlinear modal equations28

3.4 Optimization design to damper based on element exchange method ..31

3.4.1 Summary of optimization design to damper.....31

3.4.2 Element exchange method on the sum of squared story drift.....32

Chapter 4 Analysis of wind-induced vibration response of

strengthened story34

4.1 Building model and wind load34

4.1.1 Basic information of structure model34

4.1.2 Tree-dimensional wind load.....38

4.2 Structure analysis model under wind load44

4.2.1 Formation of structure analysis model under wind load.....44

4.2.2 Choice of wind directions46

4.3 Formation of strengthened story model.....49

4.4 Analysis of wind-induced vibration response of strengthened story....51

4.4.1 Dissipation capacity comparison51

4.4.2 Comfortable capability comparison.....53

4.4.3 Lateral performance comparison54

4.4.4 Anti-torsion capacity comparison.....57

4.4.5	Frame column performance comparison	57
4.4.6	Overturning moment comparison	59
4.5	Chapter summary	61
Chapter 5 Analysis of wind-induced vibration control of damped		
outrigger system		64
5.1	Viscous fluid damper (VFD)	64
5.2	Type and improvement of damped outrigger system	66
5.2.1	Damped outrigger system proposed by Zhou Yun	66
5.2.2	Improved Zhou Yun damped outrigger system proposed by this paper.....	66
5.2.3	Damped outrigger system proposed by Smith	67
5.2.4	Improved Smith damped outrigger system proposed by this paper.	68
5.3	Formation of damped outrigger system model	68
5.4	Analysis of wind-induced vibration control of damped outrigger system	70
5.4.1	Dissipation capacity comparison	71
5.4.2	Comfortable capability comparison	73
5.4.3	Lateral performance comparison	75
5.4.4	Anti-torsion capacity comparison	76
5.4.5	Frame column performance comparison	77
5.4.6	Overturning moment comparison	79
5.5	Chapter summary	80
Chapter 6 Optimization design of the improved vertical viscous		
damper system		83
6.1	Summary of optimization design method	83
6.2	Damping exponent optimization.....	83
6.2.1	Summary of damping exponent optimization.....	83
6.2.2	Consequence of damping exponent optimization	84
6.3	Damping coefficient optimization.....	91

6.3.1	Summary of damping exponent optimization.....	91
6.3.2	Consequence of damping exponent optimization	91
6.4	Damping system location optimization	94
6.4.1	Summary of damping system location optimization	94
6.4.2	Consequence of damping system location optimization.....	95
6.5	Damping system configuration optimization	98
6.5.1	Summary of damping system configuration optimization.....	98
6.5.2	Process of damping system configuration optimization	99
6.5.3	Consequence of damping system configuration optimization.....	100
6.6	Chapter summary	104
Chapter 7	Conclusions and issues for further study.....	106
7.1	Conclusions of this paper	106
7.2	Issues for further study.....	108
	References.....	110
	Acknowledgements.....	115
	List of published or accepted papers.....	117

第一章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 超高层建筑的发展

在 21 世纪的前 20 年中，“全球最高建筑”的头衔一直在交替变更。从 2003 年落成的台北 101 大厦的 508 米，到 2010 年建成的迪拜哈利法塔的 828 米，再到预计于 2020 年竣工的吉达王国塔的 1007 米，“全球最高建筑”的高度在 2000 年到 2020 年间将会上升一倍（如图 1.1 所示）。超高层建筑正向着更高的高度飞速发展着。

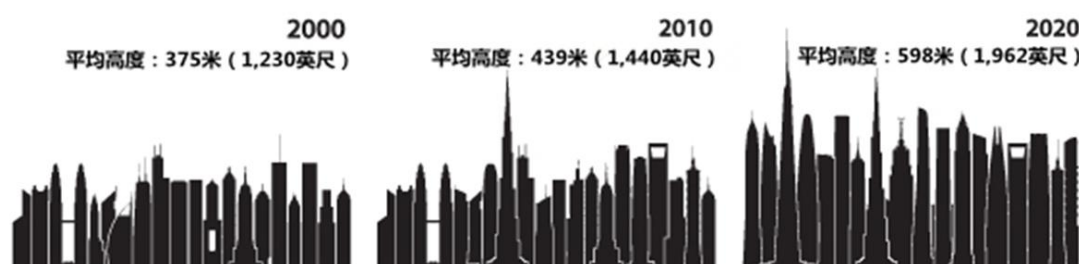


图 1.1 2000 年、2010 年、2020 年三个时期的 20 座最高建筑天际线对比

（图片来源：CTBUH. 2020 年的 20 座最高建筑：“巨高层”建筑时代的到来，2012）

与此同时，超高层建筑在中国的发展前景令全球瞩目。截止 2014 年 12 月底，中国以 25 栋已竣工的超高层建筑，78 栋正施工的超高层建筑傲视全球；而其余国家总共仅有 47 栋建设中的超高层建筑^[1]。即使非议从未间断，但为了更好的生存条件，超高层建筑会是未来城市发展的方向^[2]。

从结构角度来考虑超高层建筑发展过程中所存在的问题，可以发现：随着建筑高度的逐渐增加，以及新的结构体系和轻质高强新型建筑材料不断地应用，本身已具备较大长细比的超高层建筑，柔度愈发增大，而阻尼却逐渐减小。这就导致在风荷载的作用下，超高层建筑更容易产生较大的振动和变形。因此，风荷载和风振响应是超高层建筑结构设计必须要考虑的重要问题之一。

1.1.2 风荷载对结构的影响

风是空气从气压较高处向气压较低处流动而形成的。气体会与非流线型的建筑结构产生复杂的气动效应，并可能引起建筑物的破坏，尤其是高层建筑和高耸结构。历史上比较著名的风致破坏现象如表 1.1 所示^[3~9]。

表 1.1 风致建筑破坏情况

时间	地点	受损建筑	受损情况
1926 年	美国 佛罗里达州	一栋17 层大楼	一次飓风使大楼的两个框架出现 0.6m 与 0.2m 的水平塑性变形
1955 年	捷克	一根桅杆	在风速达 30m/s 时因失稳而破坏
1963 年	英国 约克郡	一座高386m 的 钢管电视桅杆	被风吹倒
1985 年	德国 北莱茵-威斯特法伦	一座高298m 的 无线电视桅杆	被风吹倒
1988 年	美国 密苏里州	一座高610m 的 无线电视桅杆	受阵风倒塌

1.2 结构风振控制概述

1.2.1 结构振动控制概念

传统的结构抗风方法是在保证结构强度的前提下，通过验算风荷载作用下的结构位移，来判定是否采用增强结构自身刚度和抗侧移能力的方法来抵抗风荷载作用。这是一种被动且不经济的方法。

1972 年，美籍华裔学者 J.T.P.YAO 首次提出结构控制的概念^[10]，开辟了结构抗风设计的新途径。结构振动控制技术的原理是将控制构件或装置设置于结构中，形成与结构相匹配的振动控制系统。当结构受到外部激励而产生振动时，控制系统就会主动地或被动地产生控制力，从而抑制结构的动力反应。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库